

内蒙古锡林郭勒金成矿带 物化探综合找矿方法研究

孟伟¹, 尹忠²

(1. 国土资源部 矿产资源储量评审中心, 北京 100812; 2. 武警黄金指挥部, 北京 100102)

摘要: 锡林郭勒金成矿带颇具找矿潜力, 文章总结了成矿带的地球物理、地球化学特征, 采用数理统计分析方法, 确定了矿床元素轴向分带序列为: As-Sb-Hg-Bi-Li-Sr-Ba-Ag-Pb-Au-Cu-Zn-Sn-V-Co-Cr-Ni-Ti-Mo-W, 前缘晕元素为 As, Sb, Hg, Bi, 主成矿元素为 Au, Cu, Zn, 尾晕元素为 Ti, Mo, W。据轴向分带特征, 确定金矿体剥蚀程度的判别指标为 $As \times Sb \times Bi / Ti \times Mo \times W$ 。根据研究成果部署的深部钻探工程取得了较好的找矿效果。

关键词: 金矿; 物化探综合找矿; 锡林郭勒金成矿带; 内蒙古自治区

中图分类号: P631; P632; P618.51 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-1412(2004)03-0204-05

锡林郭勒金成矿带呈 EW 向沿内蒙古地槽褶皱带南缘展布, 东起阿巴嘎旗, 西至二连浩特, 长 200 余 km, 近年来陆续发现了白音乌素、巴彦宝力道、红格尔等金矿床, 是内蒙古中部金矿找矿前景较好的地区。鉴于该区基岩多被半荒漠化干旱草原覆盖, 在找矿勘查实践中采用了岩屑地球化学测量、土壤地球化学测量、高精度磁测、激电中梯和激电测深等物化探综合找矿方法, 并通过钻探工程验证物化探综合异常, 发现了具工业意义的盲矿体, 取得了较好的找矿效果。

1 地质背景

研究区大地构造位置为内蒙古中部地槽褶皱系的苏尼特右旗晚华力西期地槽褶皱带内的艾力格庙—锡林浩特中间地块中部(南部边缘)、二连浩特—贺根山深断裂带的南侧, 金矿床处于阿尔善特—昌特敖包金矿成矿带的中部, 位于近 EW 与 NE 向构造交汇部位锐角区。

区内出露地层主要为新元古界温都尔庙群绿泥石片岩、绢云母片岩、石英岩、大理岩及泥灰岩, 该层位也是主要的矿源层。

岩浆岩分布广泛, 主要有华力西早期变质的石英闪长岩、花岗闪长岩, 华力西晚期花岗岩, 含金地质体产于岩体与地层的内外接触带。

区内断裂构造发育, 以近 EW—NE 向构造为主, 形成了长 40 余 km, 宽 35 km 的控矿构造带, 交其尔区域性深断裂处于金矿成矿带的南部边缘。成矿带内 NE、NEE、EW 向破碎蚀变带和糜棱岩化带发育, 含金地质体赋存于其内, 近矿围岩以温都尔庙群绿泥片岩和华力西期闪长岩为主, 地层中以糜棱岩型金矿化为主, 岩体内过渡为含金破碎蚀变带, 有含金硫化物-石英脉充填。矿(化)体呈脉状、透镜状、板状产于其中, 并发现有平行盲矿体, 产状以 NEE 向为主, 少量的 NE 向、NW 向, 原生矿石中金属矿物以黄铁矿、方铅矿、闪锌矿为主, 非金属矿物以石英、方解石、绢云母、绿泥石为主。

2 地球物理特征

2.1 磁性特征

本区岩石磁化强度见表 1, 并有以下特征: ①含金破碎蚀变岩具有相对略高的磁化强度; ②含铁石英脉和糜棱岩同样具有略高的磁化强度; ③花岗岩、

表 1 岩(矿)石磁化强度值

Table 1 Magnetic susceptibility value of rocks and ores		
岩石名称	ΔT 变化范围(nT)	ΔT 算术平均值(nT)
破碎蚀变岩	90102	96
含铁石英脉	8997	94
糜棱岩	8487	86
花岗闪长岩	5376	59
石英脉	4348	46
花岗岩	4041	41
绿泥片岩	4041	41

注: ΔT 为磁化强度

表 2 电性参数测定值

Table 2 Parameters of electric property							
岩(矿化)石名称	$\rho_s / \Omega \cdot m$			$\eta_s / \%$			测定数
	变化范围	算术平均值	方差	变化范围	算术平均值	方差	
含金石英脉	85574	282	159	1.042.39	1.95	0.39	29
花岗闪长岩	174307	256	33.2	1.091.64	1.48	0.19	11
闪长岩	130277	206	75	1.371.5	1.41	0.04	10
破碎蚀变岩	200500			1.743.5			

3 地球化学特征

3.1 地球化学参数特征

3.1.1 微量元素特征

从区内各类岩石微量元素测定结果看出,闪长岩中金及相关元素 Cu 和 Zn 的质量分数相对较高, $w(\text{Au})=40.9 \times 10^{-9}$, $w(\text{Cu})=46.5 \times 10^{-6}$, $w(\text{Zn})=47.5 \times 10^{-6}$, 可能为金的初始矿源层。糜棱岩和含金石英脉中含金最高,糜棱岩中 $w(\text{Au}) > 150 \times 10^{-9}$, $w(\text{Cu})=71.5 \times 10^{-6}$, $w(\text{Zn})=59.6 \times 10^{-6}$ 。说明在构造挤压作用或糜棱岩化作用下,金在构造挤压带中产生富集。

3.1.2 元素组合特征

通过相关分析得出元素组合特征如下^[1]:

含金石英脉可分为: (Sn, Ni, Ba), (Sr, Pb), (Mo, Cr, V), (Li, Ag); (Au, Cu, Zn); (Bi, Hg); (Co, Ti, W)⁴ 组, Au, Cu, Zn 相关。

糜棱岩可分为: (Sn, Zn, Ti), (Ba, Li); (Co, Ni, Ag); (Sr, Bi), (As, Sb, Hg), (W, Mo, V), (Cr, Pb, Cu, Au)³ 组。

3.2 地球化学异常特征

3.2.1 元素的分布特征

从平面异常分布看, Au, Cu, Zn 异常紧紧包住矿体, Sr, Ba, Sn, V 异常在矿体上下盘都有分布, As, Sb, Hg 异常主要在上盘; W, Mo, Ti 异常主要在下盘;

绿泥片岩、石英脉等有较低的磁化强度。

2.2 电性特征

野外利用小四极法,对各类岩石电性参数进行测定,结果列于表 2。破碎蚀变岩视电阻率(ρ_s)及视极化率(η_s)变化范围较宽,且较围岩略高。含金石英脉视电阻率(ρ_s)变化范围较大,方差亦较大,视极化率(η_s)变化不大。花岗闪长岩、闪长岩电性参数变化范围较小,方差也较小,参数相对较平稳。

Ag, Pb 异常强度弱,规模小; Cu, Zn 异常与矿体吻合。

3.2.2 元素的分带特征

(1)元素分带特征。由元素质量分数下限值的 1, 2, 4 倍来确定外、中、内带,分带情况见表 3。

表 3 锡林郭勒成矿带中段元素浓度分带特征值

Table 3 Element concentration zoning in the middle part of Xilinguole Au ore belt				$w_B / 10^{-6}$
特征参数	下限	外带	中带	内带
Au/ 10^{-9}	9.1	9.1	18.2	36.4
Ag	0.41	0.41	0.82	1.64
Cu	5.9	5.9	12.0	24.0
Pb	4.9	4.9	9.7	19
Zn	32	32	64	128
Co	37.26	37.26	74.52	149.04
Ni	5.21	5.21	10.42	20.84
Cr	14.95	14.95	29.9	59.82
Bi	3.49	3.49	6.98	13.96
As	1.19	1.19	2.38	4.76
Ba	217.6	217.6	435.2	870.42
Mo	1.98	1.98	3.95	7.9
W	4.09	4.09	8.17	16.38
Sb	0.26	0.26	0.53	1.06
V	225.8	225.8	451.6	903.2
Ti	1702	1702	3404	6807
Sn	2.39	2.39	4.78	9.57
Sr	34	34	68	136
Li	65.06	65.06	130.12	260.24
Hg/ 10^{-9}	13.38	13.38	26.76	53.52

矿体上部。内带: Au, As, Hg。中外带: Au, As, Cu, W, Bi, Pb, Cr, Bi, Ba, Mo, V, Ti, Ag, Ni, Co。

矿体下部。内带: Au, W, Mo。中外带: Au, As, Cu, W, Cr, Bi, Ba, Mo, V, Ti, Ni, Co, Sr, Zn。

(2)元素轴向分带特征。根据元素含量特征,按格氏法^[2]进行轴向分带序列的计算,得出金矿(化)体轴向分带序列为: As-Sb-Hg-Bi-Li-Sr-Ba-Ag-Pb-Au-Cu-Zn-Sn-V-Co-Cr-Ni-Ti-Mo-W。

前缘晕元素为 As, Sb, Hg, Bi; 主成矿元素为 Au, Cu, Zn; 尾晕元素为 W, Mo, Ti。

4 物化探综合异常特征

在研究区开展了大量的物化探工作。通过激电中梯测量共圈出激电异常 32 处; 通过高精磁测圈出高磁异常 7 个; 通过 1:1 万比例尺土壤地球化学测量圈出金异常 38 处。异常可分为 4 个异常带(图 1)。

4.1 I 号异常带

通过地球化学剖面测量, 圈出 4 处金异常, 位于华力西期石英闪长岩与温都尔庙群地层接触带, 其中 Au-39 异常与 24 号破碎蚀变带呈叠加状态, Au-40 平行于 Au-39 呈 NEE 向展布。异常延伸范围大于地表出露的破碎蚀变带。

4.2 II 号异常带

该异常带由 Au-3, Au-4, I-8; Au-6, I-5; Au-10, I-6, Au-5 异常组合而成。异常处于温都尔庙群绿泥片岩、石英片岩与华力西早期侵入岩接触带及华力期早期石英闪长岩、花岗闪长岩岩体中。其中 Au-3 异常、Au-4 异常均呈条带状。激电中梯 I-8 异常走向 NE, 激电异常 I-5 走向 EW, 剖面间连续性较好, 东部与 Au-8 异常吻合。

4.3 III 号异常带

由 $\Delta T-1$, I-1, DJ-2; Au-11, Au-12, DJ-1, I-9; II-4, $\Delta T-3$ 异常组合而成, 该异常与 48 号矿带吻合。异常带位于华力西早期的石英闪长岩中, 高磁异常 $\Delta T-1$ 峰值为 612 nT。激电异常 I-1 长度为 1 400 m, 延伸较大, 异常形态宽缓, 幅值较大。DJ-2 异常 ρ_s 等值线平面图异常形态完整, Au-12 异常呈椭圆状, 面积较小, 平均值 $w(Au) = 19.80 \times 10^{-9}$, 最大值 $56.6 \times$

10^{-9} 。激电异常 I-9 异常: 长度 500 m, 走向 EW, 倾向 S, 剖面间连续性较好。DJ-1 异常区的岩性为石英闪长岩, 长度约 700 m, 宽约 200 m, 走向近 NE 向。依据 η_k 和 ρ_s 曲线的特征, 解释推断矿化构造带顶板埋深 60100 m。

4.4 IV 号异常带

Au-14, I-7, Au-15; Au-16, II-1, DJ-3; Au-20, Au-21, III-2, DJ-4; II-3, $\Delta T-5$, DJ-5 异常组合而成。

异常带出露华力西早期变质石英闪长岩和花岗闪长岩。其中 Au-14 异常近条带状, 与 Cu-4 号异常西部呈半叠加状态。激电异常 I-7 长度近 300 m, 剖面间连续性较好。依据 ρ_s 和 η_k 曲线特征推断 DJ-6 异常由浅部及深部两层矿化体引起, 浅部矿化体顶板埋深 40 m, 深部矿化体顶板埋深 90 m。Au-16 异常呈长条状, 有两处浓集中心。激电异常 II-1 长度约 600 m, 剖面连续性较好。DJ-3 异常根据视极化率(η_k)和视电阻率(ρ_s)等值线的变化特征判别, 矿化破碎带倾向 S, 矿化体的顶板埋深约 80 m。

5 物化探方法在该区地质找矿中应用

先期通过土壤测量、高精磁测、激电中梯手段圈出区内的各类异常, 异常总体形态呈带状分布, 沿 NEE 向平行展布, 异常一般吻合较好, 初步推断部分异常是由金属矿化地质体引起, 并综合各类地质信息及浅部工程地质成果, 又使用电测深方法对极化

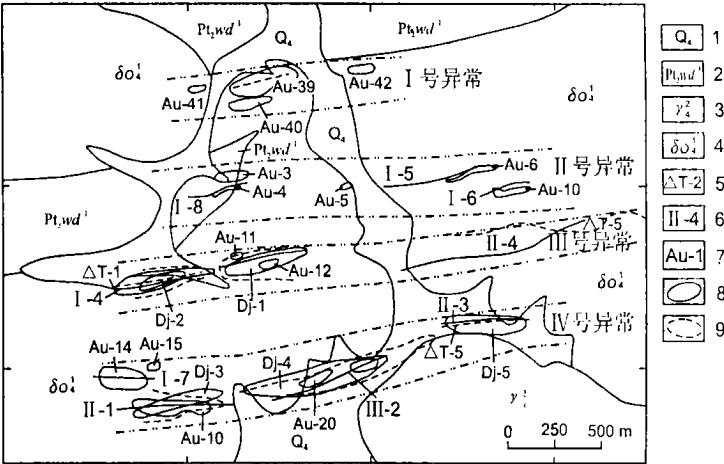


图 1 锡林郭勒成矿带中段综合异常图

Fig.1 The integrated anomaly map of the middle part of

Xilinguo Au ore belt

- 1. 第四系沉积物 2. 温都尔庙群云母石英片岩 3. 华力西期黑云二长花岗岩
- 4. 华力西期片麻状石英闪长岩 5. 磁异常及编号 6. 激电异常及编号
- 7. 金异常及编号 8. 视极化率等值线 9. 视电阻率等值线

体作进一步的定位,其中对部分异常作了电法测深,又进一步圈定 6 个激电异常,对异常作了解释推断,判断了极化体产状,推测了埋藏深度。目前使用钻探手段对部分异常进行了验证,取得了较好的地质效果。

对于 I 号异常带通过地球化学剖面测量,圈出 4 处金异常,其中 Au-39 异常与 24 号矿化带呈叠加状态,Au-40 平行于 Au-39 异常,且 Cu,Zn 与 Au 异常吻合较好,呈 NEE 向展布。地表含金硅化破碎蚀变岩出露 60 余 m,但异常范围远远大于该地质体。推测深部隐伏有规模较大的含金地质体,且可能赋存有平行矿体。首先地表利用浅井工程在局部发现了矿体,进而按照 200 m 间距设计了 3 条线 4 个钻孔,结果全部见矿,并控制了 3 层矿体, $w(\text{Au})=5\times 10^{-6}\sim 20\times 10^{-6}$ 。

III 号异常带的西端,地表测有激电异常和高磁异常。2000 年异常查证时在 20 线、60 线各布设 1 个探槽,在探槽中可见到石英闪长岩,局部地段岩石破碎强烈成为碎裂岩,内含有石英角砾,20 线探槽中碎裂岩的 $w(\text{Au})=31.4\times 10^{-9}$,60 线探槽中碎裂岩的 $w(\text{Au})=83.4\times 10^{-9}$ 。探槽中金的质量分数明显高于地表土壤测量结果,而且与 48 号矿化体(地表有出露)处于同一构造带方向上,断层泥及角砾等构造破碎带特征是一致的,认为该异常有进一步工作的价值。

2001 年、2003 年在该异常上又作了电法测深,其中 DJ-2 异常展布在测区 185~192/20,192~200/40,196~205/60~90 的点线位置,长约 850 m,宽约 80 m,走向 70°, η_s 值为 1.7%~2.3%,在 198/60 点处 ΔT 峰值达到 612 nT, ρ_s 为 380 $\Omega\cdot\text{m}$, η_s 为 2.1%。综合以上地质及物化探信息,并通过研究综合剖面图(图 2),认为该异常由矿化体(极化体)引起,并推测矿化体顶板埋藏深度为 8090 m。2002 年通过钻探工程验证,在 198/60 点处深 74 m 见金矿体,平均品位 $w(\text{Au})=10.23\times 10^{-6}$,厚度为 1.26 m。2003 年又在其两端进行激电测深工作,根据测深点曲线图及剖面图特征推断含金矿化体中心赋存在 120/100,100/92,80/84,60/76 点,走向约 70°,倾向 S。在 120/100,100/92,60/76 测深点推断矿化构造带顶板埋深 80~90m,在 100/92 测深点施工钻孔 ZK92-1,在 83 m 处矿化体 $w(\text{Au})$ 平均品位达 10×10^{-6} ,厚度为 1.60m。

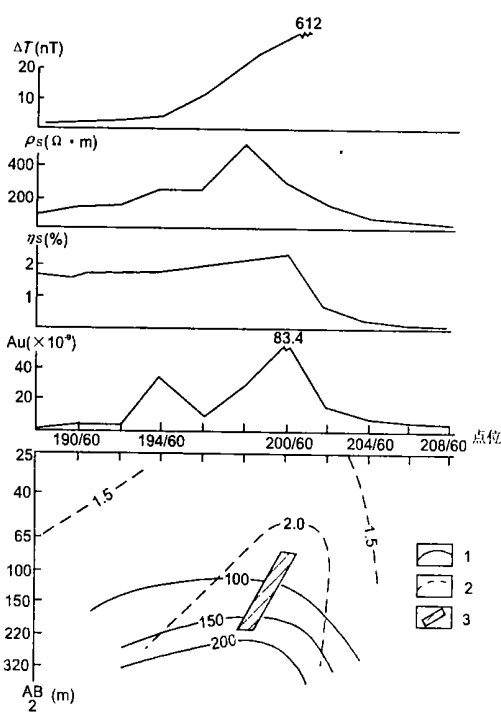


图 2 乙-1 综合异常 60 线物化探异常解释剖面图

Fig.2 The integrated geophysical and geochemical interpretation map of line 60

1. 视电阻率等值线 2. 视极化率等值线 3. 推测矿化体

6 矿体地球物理、地球化学特征及地质找矿标志

6.1 金矿体地球物理、地球化学特征

综合该区地球物理、地球化学异常特征及其找矿应用效果,初步认为该区矿体地球物理、地球化学具有如下特征(图 3)。

(1)矿体的特征元素组合 Au,Cu,Zn,Sr,Ba,Sn,V,在矿体两侧含量较高,Au,Cu,Zn 异常紧紧包住矿体;Sr,Ba,Sn,V 异常在矿体上下盘都有分布;As,Sb,Hg 异常主要在上盘;W,Mo,Ti 异常主要在下盘;Ag,Pb 异常强度弱,规模小。

(2)研究区金矿床轴向分带序列为:As-Sb-Hg-Bi-Li-Sr-Ba-Ag-Pb-Au-Cu-Zn-Sn-V-Co-Cr-Ni-Ti-Mo-W。确定金矿体剥蚀程度的判别指标为 $\text{As}\times\text{Sb}\times\text{Bi}/\text{Ti}\times\text{Mo}\times\text{W}$ 。

(3)矿体前缘晕元素为 As,Sb,Hg,Bi;主成矿元素为 Au,Cu,Zn;尾晕元素为 W,Mo,Ti。

(4)矿(化)体具有较高的磁性和相对略高的视极化率、视电阻率。

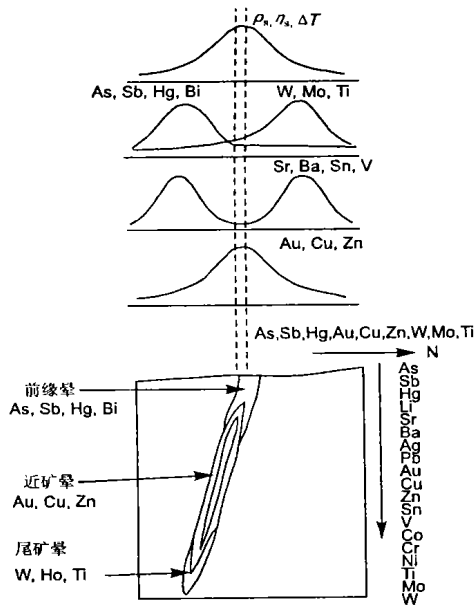


图 3 金矿体地球物理-地球化学特征

Fig. 3 A map showing geophysical and geochemical feature of ore body

6.2 地质找矿标志

该区找矿应综合各种方法,以研究成矿地质条件为前提,初步总结找矿地质特征如下:

(1)金矿(化)体多产于华力西期闪长岩与温都尔庙群的接触带。

(2)金矿(化)体多产于构造破碎带和糜棱岩化带内,产状基本吻合,矿体以 NEE 向为主,多为 S 倾。

(3)金矿化类型为石英脉型、硅化破碎蚀变岩型、糜棱岩型,而且复杂多变。

(4)围岩蚀变以硅化、绢云母化、绿泥石化、黄铁矿化为主。

7 结束语

物化探综合方法在锡林郭勒成矿带中段金矿勘查中具有重要作用,较为成功地揭示了与金矿有关的地质体、含矿构造破碎带、糜棱岩化带的地球物理、地球化学特征,从而有利于缩小找矿靶区,提高找矿命中率,尤其对于寻找隐伏矿体具有重要的指示意义。在实践中应充分研究该区成矿地质特征,与物化探方法综合运用、互为借鉴,能为区域地质找矿提供依据。

参考文献:

[1] 植东升. 地质找矿勘探中的概率统计方法[M]. 长沙:中南工业大学出版社,1987.
[2] 阮文健,朱有光. 地球化学找矿[M]. 北京:地质出版社,1985.

THE COMBINED METHOD OF GEOPHYSICAL AND GEOCHEMICAL EXPLORATION FOR Au ORE IN XILINGUOLE BEIT

MENG Wei¹, YIN Zhong²

(1. The Mineral Resources Reserves Evaluation Center of the MLR, Beijing 100812, China;
2. Gold Headquarters of the CAPF, Beijing 100102, China)

Abstract: Xilinguole Au belt in the middle of Nei Monggol is of great potential. By analysing geophysical and geochemical results and geophysical and geochemical feature of Au deposits in the belt and adopting math statistical analysis As-Sb-Hg-Bi-Li-Sr-Ba-Ag-Pb-Au-Cu-Zn-Sn-V-Co-Nr-Ti-Mo-W, the axial ore element zoning is determined with As, Sb, Hg, Bi, as the head halo elements, Au, Cu, Zn, as the main ore element and Ti, Mo, W as end elements. According to the axial zoning $As \times Sb \times Bi / Ti \times Mo \times W$ is the criteria for denutration degree of Au ore bodies. Ore exploration engineering based on the above mentioned have shown good results.

Key words: Gold deposit, ore-searching with Geophysical and Geochemical method, Xilinguole gold ore belt